

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-54293

(43) 公開日 平成9年(1997)2月25日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 F 1/035

1/313

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 F 1/035

1/313

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平7-209490

(22) 出願日

平成7年(1995)8月17日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 中山 徹生

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

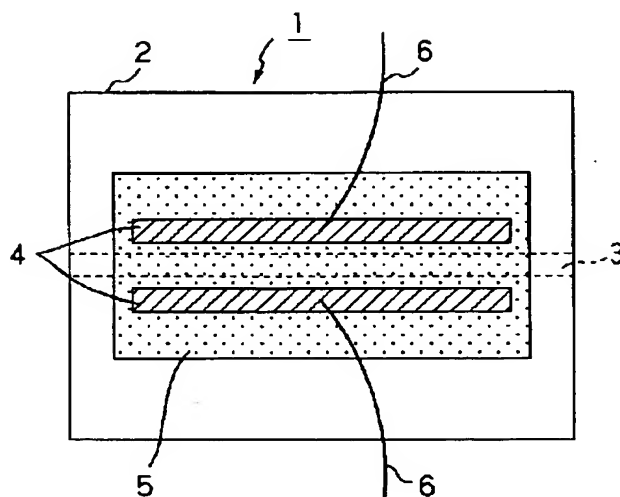
(74) 代理人 弁理士 小池 晃 (外2名)

(54) 【発明の名称】 光導波路素子

(57) 【要約】

【課題】 光導波路素子上の形成された金属薄膜電極のような一対の電極は、大気中の水分などによる損傷を受けやすく、電気光学変調器としての機能を果たさなくなる。

【解決手段】 例えばニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ 、以下LNという。) よりなる結晶基板2に例えばチタン (Ti) を熱拡散して光導波路3を形成し、この光導波路3を挟み込むように結晶基板表面2に例えば一対のアルミニウム (Al) 薄膜電極よりなる電気光学変調器である光変調器4を設け、この光変調器4を例えば二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) よりなる保護膜5で保護してなる。保護膜5は、光変調器4をすべて覆うように形成されている。



1 : 光導波路素子

2 : 結晶基板

3 : 光導波路

4 : 光変調器

5 : 保護膜

6 : ワ이어

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 結晶基板に光導波路が形成された光導波路素子において、

上記光導波路近傍の上記結晶基板表面に設けられた一対の電極と、

上記一対の電極上に形成された保護膜とを備えることを特徴とする光導波路素子。

【請求項 2】 上記保護膜はケイ素化合物であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路素子。

【請求項 3】 上記保護膜は流動性を持つ接着剤であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路素子。

【請求項 4】 上記流動性を持つ接着剤の液だれを防止する構造を備えることを特徴とする請求項 3 記載の光導波路素子。

【請求項 5】 振動している物体にレーザビームを照射してドップラー効果により変化した上記レーザビームの周波数を利用して上記物体の速度を測定するレーザードップラー速度計における電気光学変調器として使われることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路素子。

【請求項 6】 光スイッチとして使われることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、結晶基板に光導波路が形成された光導波路素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 光の周波数を変調し光の波長を変換する波長変換素子としては、光波が伝搬する媒質内に弾性波である音響波を用いて歪を発生させ、その歪により生じた屈折率変化を利用して光を変調する音響光学変調器を用いたバルク型波長変換素子がある。しかし、このバルク型波長変換素子は、音響光学変調器を用いているため高価であり、小型化も困難であった。

【0003】 そこで、結晶中に結晶よりも屈折率の大きい光導波路を作製し、そのなかに光波を閉じこめ、該光導波路近傍に形成された一対の金属薄膜電極からなる電気光学変調器を用いて該光導波路に電界を印加し、屈折率を変化させて光を変調する光導波路型波長変換素子

(以下、光導波路素子という。) が考えられてきた。光導波路と一対の金属薄膜電極は、フォトリソグラフィにより作製できるため、安価で小型化が可能なのである。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上記金属薄膜電極のような一対の電極は、大気中の水分などによる損傷を受けやすく、上記電気光学変調器としての機能を果たさなくなる。

【0005】 本発明は、上記実情に鑑みてなされたものであり、上記一対の電極を水分などから保護することのできる光導波路素子の提供を目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る光導波路素子は、上記課題を解決するために、結晶基板に形成された光導波路内を透過する光を変調させるために用いられる一対の電極を保護膜で保護する。

【0007】 ここで、上記保護膜が流動性を持つ接着剤である場合には、液だれを防止する構造を備える。

## 【0008】

【発明の実施の形態】 以下、本発明に係る光導波路素子の実施の形態について図面を参照しながら説明する。この実施の形態は、図 1 及び図 2 に示すように、例えばニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ 、以下 LN という。) よりなる結晶基板 2 に例えばチタン (Ti) を熱拡散して光導波路 3 を形成し、この光導波路 3 を挟み込むように結晶基板表面 2 に例えば一対のアルミニウム (Al) 薄膜電極よりなる電気光学変調器である光変調器 4 を設け、この光変調器 4 を例えば二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) よりなる保護膜 5 で保護してなる光導波路素子である。保護膜 5 は、光変調器 4 をすべて覆うように形成されている。光変調器 4 の各々には変調電圧が印加できるようにワイヤー 6 が接続されている。光導波路 3 は、ワイヤー 6 から変調電圧が印加された光変調器 4 によって屈折率に変化される。この屈折率に変化された光導波路 3 によって光は変調される。

【0009】 ここで、上記光導波路素子 1 における光導波路 3 の形成工程について図 3 を参照しながら説明する。まず、図 3 の (a) に示す結晶基板 2 上に液状レジストをスピンコーディングし、熱乾燥させて図 3 の

(b) に示すようにレジスト膜 7 を形成する。このレジスト膜 7 に図 3 の (c) に示すようにフォトマスク 8 を通して光 L を照射する。フォトマスク 8 を通して光 L が照射されたレジスト膜 7 を現像すると、図 3 の (d) に示すようなレジストパターンが得られる。このレジストパターンの全面に蒸着法により図 3 の (e) に示すように Ti 膜 9 を形成する。レジストパターンの全面に形成された Ti 膜 9 は、レジスト膜 7 上の Ti 膜 9 がリフトオフ法により剥離されることにより、図 3 の (f) に示すように Ti パターン 9' として所望の位置のみに残る。そして、最後に Ti パターン 9' を  $1000^\circ\text{C}$  以上の温度で数時間熱拡散することにより Ti 拡散された光導波路 3 を形成することができる。

【0010】 次に、光変調器 4 の形成工程について図 4 を参照しながら説明する。まず、図 4 の (a) に示すような光導波路 3 が形成された結晶基板 2 上に液状レジストをスピンコーディングし、熱乾燥させて図 4 の (b) に示すようにレジスト膜 10 を形成する。このレジスト膜 10 に図 4 の (c) に示すようにフォトマスク 11 を通して光 L を照射する。フォトマスク 11 を通して光 L が照射されたレジスト膜 10 を現像すると、図 4 の

(d) に示すようなレジストパターンが得られる。この

## 3

レジストパターンの全面に蒸着法により図4の(e)に示すようにA1膜12を形成する。レジストパターンの全面に形成されたA1膜12は、レジスト膜10上のA1膜12がリフトオフ法により剥離されることにより、図4の(f)に示すようにA1パターン12'として所望の位置のみに残る。ここでは、光導波路3を挟み込むような位置にA1パターン12'を残して光変調器4を形成している。

【0011】そして、このA1パターン12'として形成された光変調器4の全面を覆うように、蒸着法によりSiO<sub>2</sub>を例えば3000オングストローム堆積し保護膜5を形成する。

【0012】このように、光変調器4上には、保護膜5がすべてを覆うように形成されているので、変調器4は大気中の水分による損傷を受けることがなく、上記光を変調できる。

【0013】なお、実施の形態となる光導波路素子1の保護膜5の厚さは、上述したように3000オングストローム程度であるが、水分に対して保護ができれば特に膜厚についての制限はない。また、保護膜5の大きさは光変調器4を完全に覆う大きさであれば問題はない。

【0014】また、保護膜5の材料としては、SiO<sub>2</sub>をあげたが、炭化ケイ素SiCや窒化ケイ素SiO<sub>4</sub>などのケイ素化合物を用いてもよい。また、このときの成膜方法としては、蒸着法以外にスパッタリング法やプラズマCVD法を用いてもよい。

【0015】さらに、保護膜5の材料としては、流動性を持つ接着剤を用いてもよい。流動性を持つ接着剤としては、熱硬化性接着剤や紫外線硬化性接着剤がある。いずれにしてもこのような流動性を持つ接着剤で上記光変調器4を覆うようにすれば大気中の水分による損傷を防止できる。

【0016】ところで、上記流動性を持つ接着剤は、粘性が小さいので、硬化するまでの間、例えば光変調器4のみを覆うように結晶基板2上に塗布したとしても、液だれを起こしてしまい、結晶基板2の表面近傍に存在する光導波路3の端部を覆い、光の入力及び出力を妨げる恐れがある。

【0017】そこで、保護膜として流動性を持つ接着剤を使う場合、本発明では図5の(a)及び図5の(b)に示すように、光導波路素子20の結晶基板2の表面上の四方に例えばLNよりなる防護壁21を設けている。以下、この光導波路素子20を他の実施の形態として説明する。すなわち、この光導波路素子20は、LNよりなる結晶基板2にTiを熱拡散して光導波路3を形成し、この光導波路3を挟み込むように結晶基板表面2に一对のA1薄膜電極よりなる電気光学変調器である光変調器4を設け、この光変調器4を例えばポリイミドのような熱硬化性接着剤よりなる保護膜22で保護している。さらに、この光導波路素子20は、上記熱硬化性接

## 4

着剤が硬化するまでの間の液だれを防止するために防護壁21を結晶基板2の表面の四方に接着している。このため、この光導波路素子20の結晶基板2表面には防護壁21により囲いができるので流動性を持つ接着剤よりなる保護膜22は結晶基板2表面からこぼれずにとどまり、光導波路3の入力及び出力端部が覆われるのを防ぐことができる。

【0018】上記光導波路素子20では、結晶基板2表面の四方にLNよりなる防護壁21を接着して囲いを形成したが、変形例として図6の(a)に示すような光導波路ホルダー23を用いて防護壁を形成してもよい。光導波路ホルダー23の側面23a、23bは背の高い壁とされている。また、光導波路ホルダー23の前面23cと後面23dは、図6の(b)に示す結晶基板2を収納したとき、該結晶基板2の上部に光導波路ホルダー23の一部が突出するような構成とされている。光導波路ホルダー23の前面23cと後面23dには、結晶基板2の端面2a及び端面2bを隠してしまわないようなスペースを空けている。結晶基板2と光導波路ホルダー23との隙間は接着剤などで目張りされている。このため、図6の(c)に示すように光導波路ホルダー23に結晶基板2を装着すると、結晶基板2上に光変調器4を覆うように塗布した流動性を持つ接着剤よりなる保護膜22は、結晶基板2からこぼれず光導波路3の入力端3a及び出力端3bを覆うことがない。

【0019】さらに他の変形例としては、図7の(c)に示すように光導波路ホルダー24とLNよりなる防護壁25a、25bを備えた光導波路素子でもよい。結晶基板2の前後の端面には、図7の(b)に示すようにLNよりなる防護壁25aと防護壁25bが接着剤により張り付けられている。このため、光導波路ホルダー24は、側面24a、24bを背の高い壁としていけばよい。つまりこの変形例は、図7の(a)に示すような光導波路ホルダー24に図7の(b)に示すような結晶基板2を収納することにより、四方に壁を作り、結晶基板2上に光変調器4を覆うように塗布した流動性を持つ接着剤よりなる保護膜22を、結晶基板2からこぼさず、光導波路3の入力端3a及び出力端3bを覆わせることがない。

【0020】さらにまた、他の変形例としては、結晶基板の側面にLNの防護壁がある場合には、前面と後面に高い壁のある導波路ホルダーを用いればよい。

【0021】ここで、結晶基板2上に接着した上記防護壁はLNを用いたが、例えばガラスやアルミ等の他の材料でもよい。また、光導波路ホルダー23及び24は一般的には、ステンレスやアルミ等の金属材料が適するが、上述したような加工が可能であれば特に限定されるものではない。

【0022】なお、上記光導波路素子1や上記光導波路素子20等は、図8に示すようなレーザドップラー速度

## 5

計の電気光学変調器に適用することができる。レーザドップラー速度計は、振動している物体にレーザビームを照射し、ドップラー現象により変化した周波数を利用して振動している物体の速度を測定する装置である。このレーザドップラー速度計では、物体の振動現象の方向性も検出するために光を変調する必要がある、上記光導波路素子1や上記光導波路素子20等を適用すると好ましい。

【0023】図8にレーザドップラー速度計30の概略構成をレーザビームの波形と共に示す。先ず、極めて高い周波数を持つレーザビーム $L_0$ は、偏向ビームスプリッタ(PBS)31により2方向に分けられる。その内の一つは、PBS32と、1/4波長板33を透過して、被測定物である振動物体34に照射される。振動物体34で反射した戻り光 $L_1$ は、ドップラー効果により、振動物体34の速度に比例した周波数偏移を受けている。戻り光 $L_1$ は再び1/4波長板33を通過し、PBS32に入射する。ここで、戻り光 $L_1$ は1/4波長板33により偏光方向が $90^\circ$ 回転されているので、PBS32により反射される。

【0024】PBS31で2つに分けられた他方は、上記光導波路素子1や上記光導波路素子20等を用いた変調部35により変調を受けて、変調レーザビーム $L_2$ となり、PBS36に入射する。変調レーザビーム $L_2$ とミラー37で反射された上記戻り光 $L_1$ は、偏光板38を通過して、同じ偏光成分が干渉し、ビート信号 $L_3$ が発生する。このビート信号 $L_3$ を例えばフォトディテクタのような光検出器39で検出して電気信号に変換してから、復調器40で復調し、復調速度信号 $S_0$ を得る。

【0025】以下に、このレーザドップラー速度計30の動作原理を説明する。レーザ光源より出射された周波数 $f_0$ のレーザビーム $L_0$ は、PBS31を介して振動物体34への入射ビーム系と、機器内部で戻される参照ビーム系の2系統に分割される。入射ビーム系側に進んだレーザビーム $L_0$ は、さらにPBS32を介して振動物体34に照射され、振動物体34の持つ速度に応じてドップラーシフトを起こした戻り光 $L_1$ となり、1/4波長板33、PBS32を介してミラー37に供給される。ここで、シフト周波数を $f_D$ とすると、ドップラーシフトは $f_0 \pm f_D$ となる。一方、参照ビーム系側に進んだレーザビーム $L_0$ は、レーザビームそのものの持つ周波数 $f_0$ が極めて高く直接測定が困難なことから、検出しやすいように変調部35を介して周波数が $f_0 \pm f_M$ と変調され変調レーザビーム $L_2$ となる。

【0026】振動物体34に当たって反射してきた戻り光 $L_1$ は、ドップラーシフトをおこしているの、参照光となる上記変調レーザビーム $L_2$ と干渉させると、 $f_M + f_D$ のビート周波数のビート信号 $L_3$ が発生するため、ドップラー周波数の正負すなわち往復運動である振動速度と振動方向が判別できる。

## 6

【0027】ビート信号 $L_3$ は、さらに光検出器39でドップラーシフトした周波数分( $f_D$ )だけ取り出され、復調器40でFM復調されて振動物体の振動速度に応じた電気信号とされた後、電圧出力として出力される。

【0028】このレーザドップラー速度計30では、変調部35に上記光導波路素子1や上記光導波路素子20等を用いているので、参照光となる変調レーザビームにノイズを発生させない。すなわち、変調レーザビームを出力する上記光導波路素子1や上記光導波路素子20は、保護膜5で光変調器4を覆い、該光変調器4が大気中の水分によって損傷を受けるのを防いでいるので、ノイズの無い変調レーザビームを出力できる。

【0029】また、本発明に係る光導波路素子は、図9及び図10に示すような光スイッチ装置41にも適用できる。この光スイッチ装置41は、LNよりなる結晶基板42にTiを熱拡散して4本の光導波路43a、43b、43c及び43dを形成している。光導波路43a、43b、43c及び43dは、一直線状に形成されているものではなく、図示するように隣接する他の光導波路に近接する部分のみが平行な直線状になっている。この平行な直線状部分が、方向性結合器 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 及び $S_5$ を形成している。すなわち、方向性結合器 $S_1$ 及び $S_2$ は、光導波路43aと光導波路43bの近接部分に形成される。また、方向性結合器 $S_3$ 及び $S_4$ は、光導波路43cと光導波路43dの近接部分に形成される。また、方向性結合器 $S_5$ は、光導波路43bと光導波路43cの近接部分に形成される。

【0030】一般的な方向性結合器は、原理的に2本の光導波路間で100%の光パワーの授受が可能である。これは光導波路を電搬する光は、導波路の外側に指数関数的に減少する電磁界成分(エバネッセント波)を有しているの、2つの光導波路が近接して配置されると、このエバネッセント波を介して電磁波の重なりが生じ、両光導波路間での光パワーの交換が可能になるためである。

【0031】また、光パワーの移動の割合は2つの光導波路間の電搬定数差により決定できる。電搬定数差は、光導波路上に作製した電極に印加する電圧に差を持たせることにより変化できる。このため、光パワーの制御ができ、光スイッチングが可能となる。

【0032】図9に示す光スイッチ装置41では、方向性結合器 $S_1$ を形成する光導波路43a及び43b上に電極44 $S_1$ 及び45 $S_1$ を、方向性結合器 $S_2$ を形成する光導波路43a及び43b上に電極44 $S_2$ 及び45 $S_2$ を、方向性結合器 $S_3$ を形成する光導波路43c及び43d上に電極46 $S_3$ 及び47 $S_3$ を、方向性結合器 $S_4$ を形成する光導波路43c及び43d上に電極46 $S_4$ 及び47 $S_4$ を、方向性結合器 $S_5$ を形成する光導波路43b及び43c上に電極45 $S_5$ 及び46 $S_5$ を形成してい

7

る。この光スイッチ装置41のZZ'での断面を図10に示す。各電極44S1、45S1、44S2、45S2、46S3、47S3、46S4、47S4は、例えばSiO<sub>2</sub>からなる保護膜48により覆われているので、大気中の水分による損傷を受けることがない。また、各電極には、ワイヤー49が接続されている。

【0033】光スイッチ装置41は、半導体レーザ50から出射され対物レンズ51で集光されて入力ファイバ52により導かれたレーザビームを光導波路43cから取り入れた後、上記方向性結合器S3、S5及びS2を使って、出力ファイバレイ53a、53b、53c及び53dに選択的に導出することができる。同様のことは、入力ファイバ52からの入射光を他の光導波路43a、43b及び43cで取り入れた後にも上記方向性結合器S1、S2、S3、S4及びS5を用いれば可能である。

【0034】また、その際の光パワーの移行の割合は、ワイヤー49を介して各電極44S1、45S1、44S2、45S2、46S3、47S3、46S4、47S4、45S5及び46S5に印加する電圧によって制御できる。

【0035】保護膜48として流動性を持つ接着剤を用いた場合には、上述したような液だれ防止構造を採用することにより、上記接着剤が硬化前に液だれを起こし、光導波路の入力端及び出力端を塞いでしまうのを防止できる。

【0036】なお、上記実施の形態の光導波路素子1、他の実施の形態となる光導波路素子20、及び上記光スイッチ装置41では、Tiを熱拡散して光導波路を形成したが、Ni、Cuを熱拡散して光導波路を形成してもよい。

【0037】また、熱拡散法により光導波路を作製する以外にも、加熱した安息香酸溶液中にLNを浸してLi<sup>+</sup>→H<sup>+</sup>の交換を起こし高屈折率層を形成し光導波路を得るプロトン交換法や、イオン交換法やイオン注入法などを用いて光導波路を作製してもよい。

【0038】また、結晶基板2及び42にLNを用いたが、LN以外にリチウム酸タンタル(LiTaO<sub>3</sub>)やKTiOPO<sub>4</sub>を用いてもよい。

【0039】また、光変調器4をA1で作製しているが、A1以外にTi-AuやCr-Auなどを用いて作製してもよい。

【0040】また、光導波路及び光変調器の金属パターンの堆積を蒸着法により作製しているが、蒸着法以外にスパッタリング法を用いて作製してもよい。

8

【0041】また、光導波路及び光変調器の金属パターンの形成をリフトオフ法により作製しているが、リフトオフ法以外にエッチング法を用いて作製してもよい。

【0042】

【発明の効果】本発明に係る光導波路素子は、結晶基板に形成された光導波路内を透過する光を変調させるために用いられる一対の電極を保護膜で保護するので、上記一対の電極を大気中の水分から保護できる。

【0043】ここで、上記保護膜が流動性を持つ接着剤である場合には、液だれを防止する構造を備えるので、液だれによる光導波路の入力端及び出力端の閉塞を防止できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光導波路素子の実施の形態の概略構成を示す模式図である。

【図2】上記実施の形態の断面図である。

【図3】上記実施の形態で用いられる光導波路の形成工程を示す工程図である。

【図4】上記実施の形態で用いられる光変調器及び保護膜の形成工程を示す工程図である。

【図5】本発明に係る光導波路素子の他の実施の形態の概略構成を示す模式図である。

【図6】上記他の実施の形態の変形例を示す模式図である。

【図7】上記他の実施の形態の他の変形例を示す模式図である。

【図8】上記実施の形態及び上記他の実施の形態を適用して好ましいレーザドップラー速度計の概略構成図である。

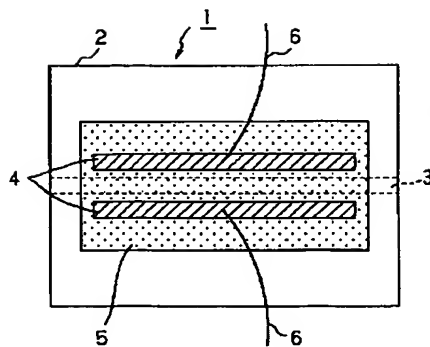
【図9】本発明に係る光導波路素子の他の適用例となる光スイッチ装置の模式図である。

【図10】上記光スイッチ装置の断面図である。

【符号の説明】

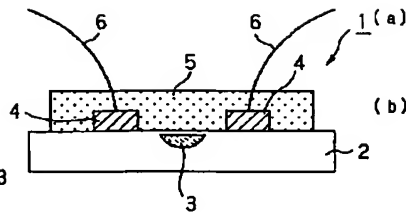
- 1、20 光導波路素子
- 2 結晶基板
- 3 光導波路
- 4 光変調器
- 5、22 保護膜
- 21 防護壁
- 23、24 光導波路ホルダー
- 30 レーザドップラー速度計
- 35 変調部
- 41 光スイッチ装置
- 42 結晶基板

【図1】

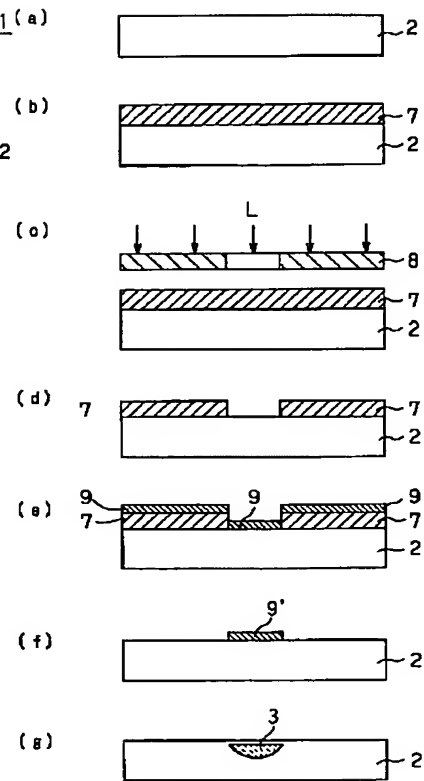


- 1: 光導波路素子  
2: 結晶基板  
3: 光導波路  
4: 光変調器  
5: 保護膜  
6: ワイヤ

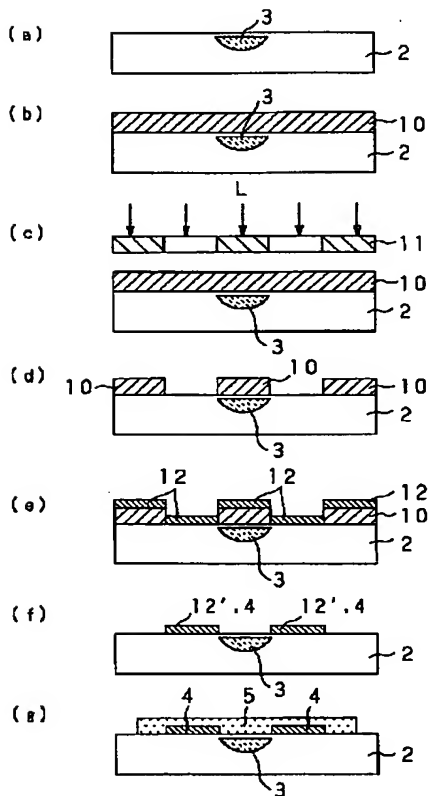
【図2】



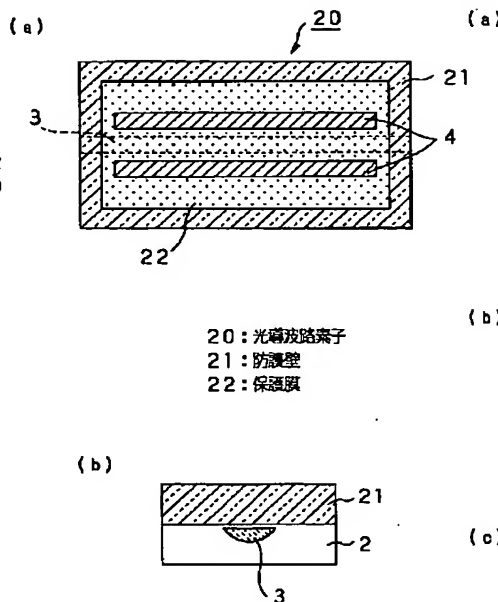
【図3】



【図4】

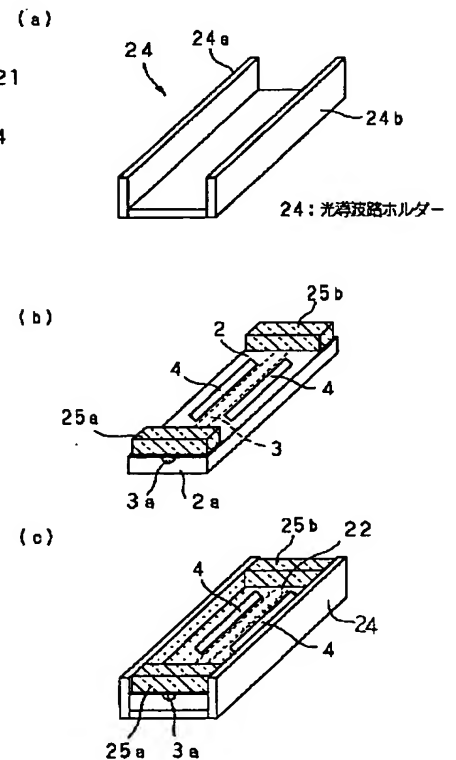


【図5】



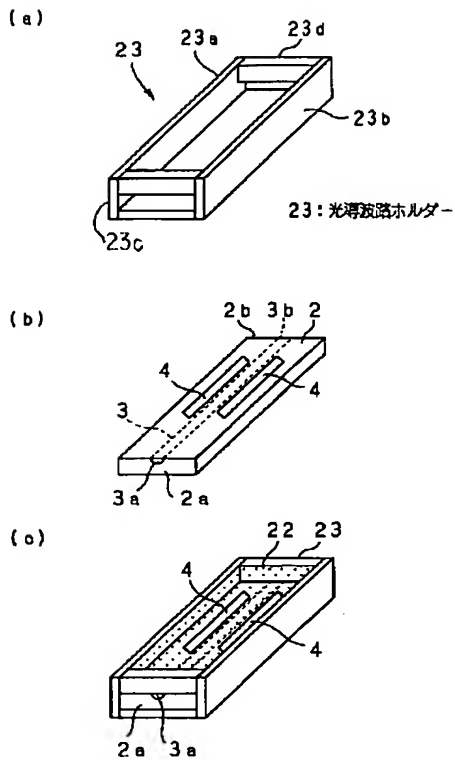
- 20: 光導波路素子  
21: 防壁  
22: 保護膜

【図7】

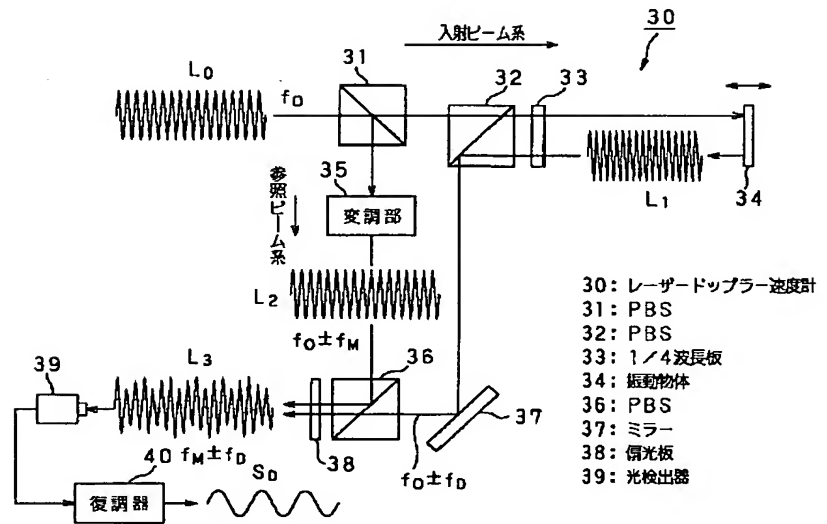


24: 光導波路ホルダー

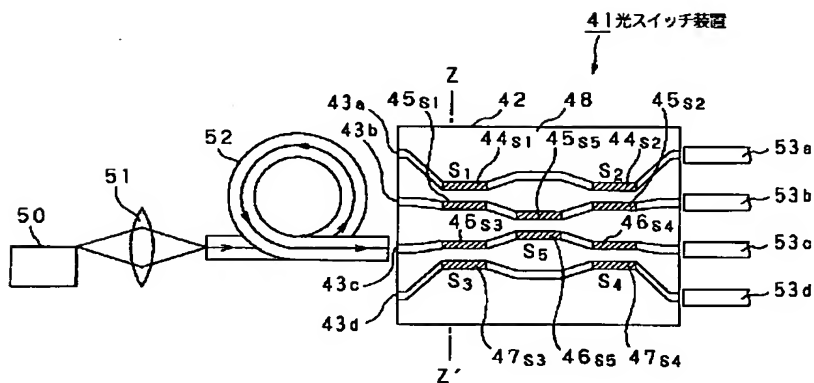
【図 6】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

